

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСЛОЙНОЙ СУШКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Аннотация

Способ двухслойной сушки, предусматривающий поочередную сушку каждого слоя, решает задачу увеличения высоты слоя исходных окатышей при минимальном переувлажнении в процессе сушки. Высота каждого слоя ограничивается развитием переувлажнения. Суммарная высота слоя получается более значительной, чем при однослойной загрузке. Теплотехнические расчеты показывают, что раздельная сушка каждого слоя с высокими скоростями фильтрации теплоносителя позволяет значительно интенсифицировать процесс сушки, увеличить производительность машины и сократить расход теплоты с одновременным повышением прочностных характеристик и металлургических свойств обожженных окатышей.

Ключевые слова: обжиговая машина, сушка окатышей, двухслойная загрузка.

Abstract

Double-layer drying process provides a cascade drying of each pellet bed layer, which tackles the issue of increased green pellet bed height with minimal over-moistening during drying. The height of each layer is limited to the progress of over-moistening process. Double-layer feeding results in the higher total pellet bed compared to single-layer green pellet feeding. The thermal engineering calculations show that the separated drying of each layer with higher speed of heat carrier filtration could drastically intensify the drying process. Furthermore, it leads to improvement of the indurating machine capacity and reduction of heat rate as the strength characteristics and metallurgical properties of the fired pellets are getting higher.

Key words: indurating machine, drying of pellets, double-layer feeding.

Процесс слоевой сушки на обжиговых конвейерных машинах является наиболее значимым с точки зрения сохранения целостности как отдельных окатышей, так и структуры слоя в целом. Разрушение окатышей и образование трещин связано с неправильной организацией работы зоны сушки и оказывает влияние на качество обожженных окатышей, расход энергоносителей и производительность машины

Переувлажнение окатышей является определяющим фактором, приводящим к сминанию, растрескиванию и разрушению окатышей в результате сушки и соответственно к ухудшению как качества обожженных окатышей, так и структуры слоя, снижая производительность агрегата [1, 2]. Следовательно, ликвидировать переувлажнение, либо значительно уменьшить его влияние на окатыши является главной задачей, решение которой позволит существенно повысить энергоэффективность и технико-экономические показатели производства окатышей.

Одним из способов решения этой проблемы является использование реверсивной сушки [3, 4]. При реверсивной сушке слоя первоначально производится подача теплоносителя снизу и происходит переувлажнение окатышей верхнего горизонта. Последующий просос теплоносителя осуществляется сверху, что благоприятно сказывается скоростях и равномерности сушки окатышей по высоте слоя. [5, 6], но не решает проблем слоевой сушки.

Интенсивность сушки нижних горизонтов слоя по мере движения тележек в зоны с более высокими температурами возрастает. При малой степени сушки в предыдущих зонах нижний горизонт высушивается с высокой скоростью, что также приводит к растрескиванию окатышей.

На решение этой задачи направлена технология двухслойной загрузки окатышей с отдельной сушкой каждого слоя только прососом теплоносителя. Высота каждого слоя ограничивается развитием переувлажнения. Суммарная высота слоя получается больше, чем при однослойной загрузке, что позволяет существенно увеличить производительность обжиговой машины, с сохранением качества окатышей.

Помимо роста производительности преимуществами такого решения являются:

- минимальное развитие переувлажнения слоя;
- значительно более высокая интенсивность процесса сушки;
- отсутствие потерь теплоты с утечками теплоносителя, а также на нагрев тележек и окатышей постели.

Вычислительные эксперименты с использованием усовершенствованной математической модели сушки окатышей позволили выявить следующее [7].

При реверсивной схеме сушки слоя окатышей теплоноситель с температурой 300-350 °С в первой секции зоны, работающей на продув, перед попаданием в слой сырых окатышей проходит через колосники и балки обжиговой тележки и слой окатышей донной постели, бесполезно нагревая их. При этом его температура снижается до 180-200 °С. Кроме того, при продуве происходят значительные утечки теплоносителя из газоходной системы машины через продольные и поперечные уплотнения в атмосферу, достигающие 25-30 % от его общего количества. При двухслойном способе загрузки окатышей с отдельной сушкой каждого слоя утечки теплоносителя отсутствуют, нет потерь теплоты на нагрев постели и тележек в зоне сушки.

Процесс слоевой сушки окатышей характеризуется тем, что в течение 60-70 % общего времени сушки в слое одновременно происходит сушка окатышей одних слоев и переувлажнение окатышей других слоев. При реверсивной схеме в первой секции зона переувлажнения выходит на поверхность слоя, а затем при переходе в секцию с продувом переувлажненные окатыши, имеющие пониженную прочность и высокую пластичность, первые подвергаются воздействию теплоносителя с температурой до 700 °С. Кроме того, имеет место воздействие на окатыши поверхностного слоя скоростного напора теплоносителя. В результате происходит частичное разрушение и разупрочнение окатышей, уплотнение слоя и повышение его гидравлического сопротивления.

При раздельной сушке слоев окатышей прососом теплоносителя такой картины не наблюдается [8]. Теплотехнические расчеты показывают, что раздельная сушка каждого слоя с высокими скоростями фильтрации теплоносителя позволяет значительно интенсифицировать процесс сушки (на 40-50 %), увеличить производительность машины на 5-10 % и сократить расход теплоты на 100 МДж/т, что эквивалентно $\approx 3,5$ м³/т природного газа с одновременным повышением прочностных характеристик и металлургических свойств обожженных окатышей.

При решении задачи повышения производительности обжиговых машин пл. 278 и 430 м², при производстве окатышей из гематитового концентрата с твердым топливом были выполнены эксперименты на аглочае Бразильской фабрики VALE. На основании этих экспериментов была адаптирована математическая модель, и предложен вариант реконструкции действующей машины с применением двухслойной загрузки окатышей.

Ниже приведем результаты расчетов на математической модели оптимальных параметров для двухслойной безреверсивной сушки.

Для сравнительного анализа влияния параметров теплоносителя и слоя на общую (интегральную) величину зоны переувлажнения ввели понятие о «суммарном переувлажнении» слоя F_{Σ} , физический смысл которого следует из его размерности (%·м·мин), то есть это произведение величины переувлажнения (% абс.) на текущую высоту переувлажненного слоя (м), проинтегрированное по времени на всей длине зоны переувлажнения окатышей.

В соответствии с соображениями о наиболее опасном переувлажнении, приближающимся по значению к предельному насыщению окатышей конденсатом, целесообразно ввести величину «опасного переувлажнения» $F_{оп}$. Опасное переувлажнение отличается от суммарного тем, что оно рассчитывается не по всей высоте слоя, а только на заданном участке (например, нижний участок слоя высотой 100 мм), и не во всем диапазоне переувлажнения, а только в области, близкой к предельному насыщению окатышей.

Исходные данные и результаты расчетов сушки представлены в таблицах 1 и 2, в них показаны следующие величины:

$L_{c1}, L_{пр}$ (м) – длины зоны сушки 1 и длина промежуточной зоны (дозагрузки), соответственно;

$W_{c1}, W_{пр}$ (м/с) – скорости фильтрации в соответствующих зонах;

$T_{c1}, T_{пр}$ (°C) – температуры в зонах сушки 1 и в промежуточной зоне сушки;

H_1, H_2 (мм) – высота основного слоя окатышей и высота слоя дозагрузки, соответственно;

$L_{сушки}$ (м) – длина обжиговой машины, на которой испарилась последняя влага из окатышей;

$g_{св}^{с/пс1}, c2$ (%) – максимальное количество свободной влаги, находившейся в слое окатышей на границе слой/постель в зонах сушки 1 и 2;

$F_{\Sigma}^{c1}, F_{\Sigma}^{c2}$ (% м/мин) – суммарное переувлажнение зон сушки 1 и сушки 2;

$\psi_{c1, пр}$ (%) – эффективность зоны сушки 1 и промежуточной зоны сушки.

Поскольку скорости фильтрации в первой зоне сушки (C1) и второй зоне после дозагрузки (C2) существенно отличаются, то и высоты этих «полуслоев»

должны быть неодинаковыми. Для определения оптимального соотношения высот «полуслоев» проведены расчеты при общей высоте слоя 370 мм, скорость в С1 принята равной 1,5 м/с, а скорость фильтрации в С2 на длине 10,5 м равна 1,0 м/с, а далее до окончания процесса сушки окатышей – 0,7 м/с. Высоту первого «полуслоя» варьировали в пределах от 130 до 230 мм (таблица 1). Температуру теплоносителя на входе в С1 приняли 350 °С, а в С2 – 360 °С в начале 10,5 м, а далее – от 750 °С до 1250 °С. Длину С2 выбрали так, чтобы степень сушки перед С2 была в пределах 80-100 % при длине промежуточной зоны (дозагрузки) 4,5 м, температура теплоносителя 100 °С и скорости фильтрации 0,8 м/с.

Результаты этих расчетов представлены на рисунке 1, из которого следует, что высоту слоя в С1 следует принимать ≥ 210 мм, т.е. высота второго «полуслоя» составит ≤ 160 мм. Горизонт окончания сушки всегда находится практически на границе «полуслоев», т.е. в нижней части верхнего «полуслоя», который и лимитирует окончание процесса сушки при $\varphi_{\text{пр}} \approx 80$ % (рис. 1).

Вследствие того, что в промежуточной зоне первый слой практически не охлаждается, свободная влага, приходящая из верхнего слоя, не повышает влажность нижнего слоя. Количество свободной влаги в верхнем слое не превышает 0,15 % от влаги начальной в окатышах. Увеличение свободной влаги в верхнем слое при росте высоты первого слоя (рис. 1 и табл. 2) объясняется, по-видимому, снижением начального количества влаги в верхнем слое.

Суммарное переувлажнение в С1 увеличивается с ростом высоты слоя, как видели это и раньше [4, 9].

Таблица 1

Исходные данные для расчета сушки при двухслойной загрузке

Соотношение высот слоев загрузки	L_{c1}	$L_{\text{пр}}$	T_{c1}	$T_{\text{пр}}$	W_{c1}	$W_{\text{пр}}$
$H_1/H_2=185/185$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8
$H_1/H_2=170/200$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8
$H_1/H_2=150/220$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8
$H_1/H_2=130/240$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8
$H_1/H_2=190/180$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8
$H_1/H_2=210/160$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8
$H_1/H_2=230/140$	10,5	4,5	350	100	1,5	0,8

Таблица 2

Результаты расчета сушки

H_1	$g_{\text{св}}^{\text{с/п}} \text{ С1}$ к концу сушки	$g_{\text{св}}^{\text{с/п}} \text{ С2}$ к концу сушки	$F\Sigma c_1$	$F\Sigma c_2$	φ_{c1}	$\varphi_{\text{пр}}$	Горизонт, где заканчивается сушка	$L_{\text{сушки}}$
130	0,02	0,024	0,003	0,08	96,4	100	0,202	46,5
150	0,095	0,039	0,006	0,066	90,3	98,9	0,222	46,5
170	0,123	0,057	0,011	0,056	84,2	93,9	0,242	46,5
190	0,147	0,076	0,018	0,049	78,2	88,4	0,262	40,5
210	0,176	0,1	0,027	0,047	72,7	83	0,282	37,5
230	0,223	0,139	0,038	0,049	67,7	77,7	0,302	37,5

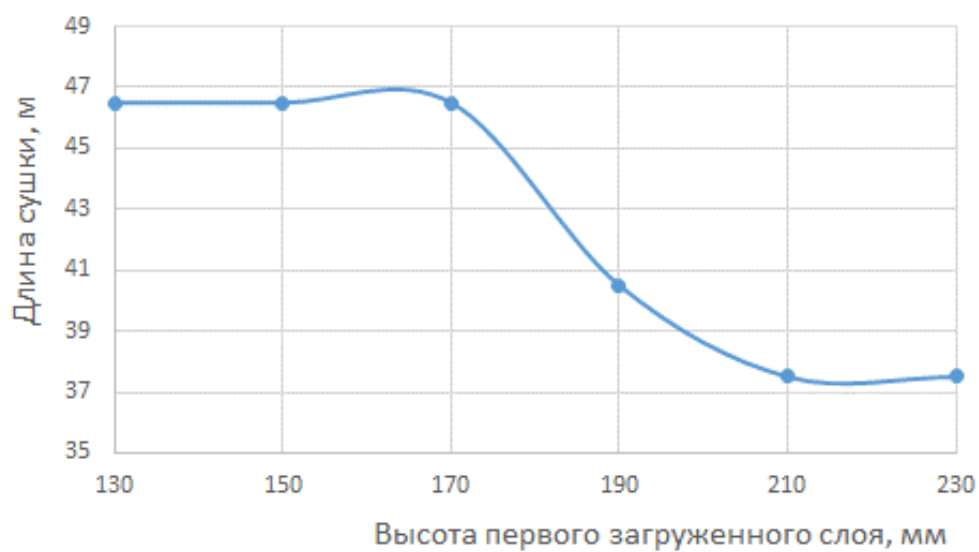
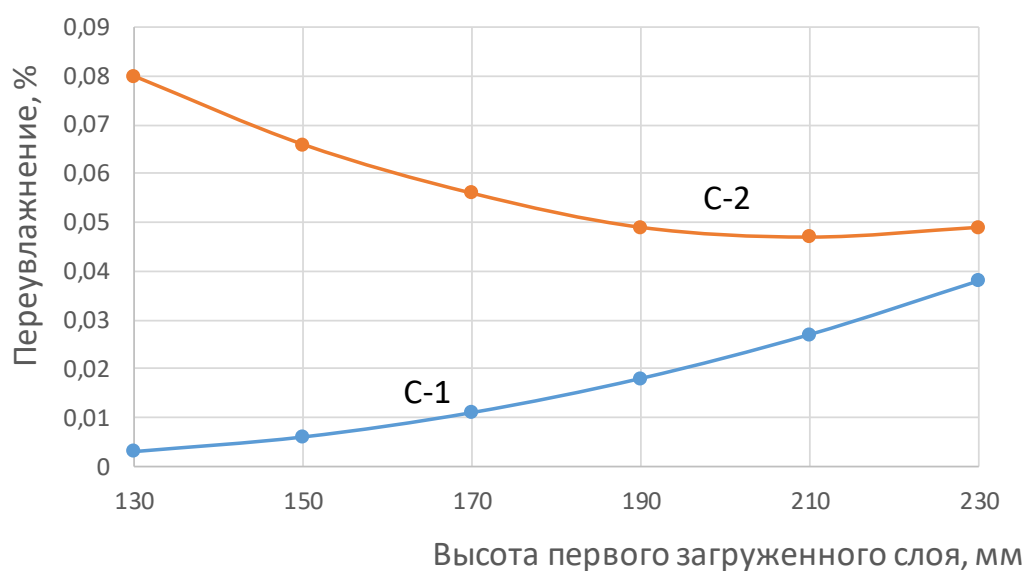
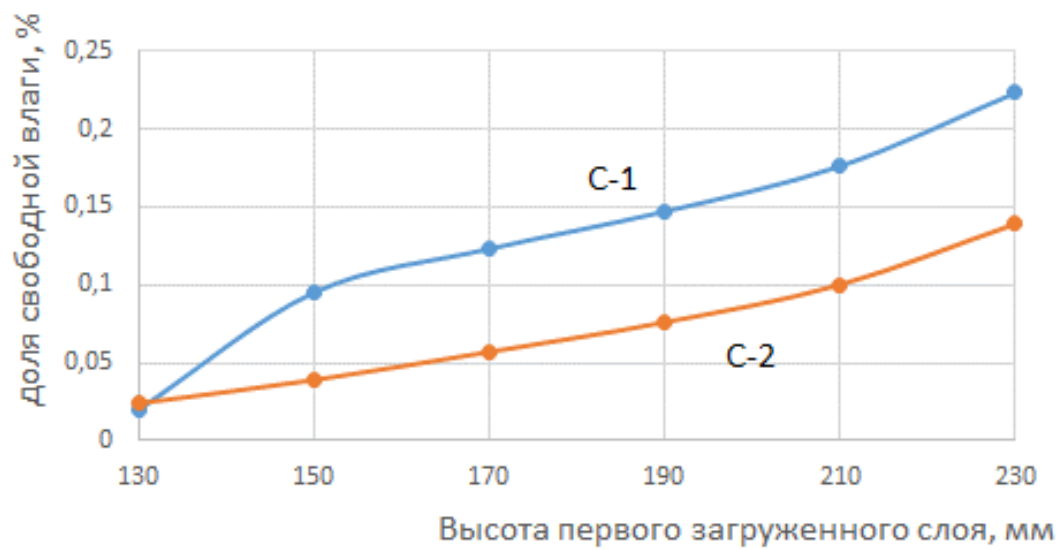


Рис. 1. Результаты расчетов сушки при двухслойной загрузке

Выводы

1. Оптимальное соотношение высот нижнего слоя к суммарной должно составлять около 0,4 для заданных исходных данных.
2. Температуру теплоносителя в промежуточной зоне следует поддерживать не менее 100 °С за счет подсоса из соседних зон.
3. При поддержании $\varphi_{\text{пр}} \geq 80$ % общая продолжительность сушки лимитируется сушкой верхнего «полуслоя», следовательно, во второй половине С2 полезно повысить температуру теплоносителя и снизить высоту верхнего полуслоя, за счет увеличения высоты нижнего.
4. Расчеты показали, что без ухудшения параметров сушки, а также показателей работы обжиговой машины можно принять высоты слоев 255/145, при этом общая высота слоя, с учётом постели 70 мм составит 470 мм. Однако для реализации этого мероприятия потребуется увеличение высоты бортов обжиговых тележек и поднятие горнов обжиговой машины.

Список использованных источников

1. Механизм формирования области переувлажнения окатышей в зоне сушки обжиговой конвейерной машины / Б.А. Боковиков, В.И. Клейн, В.М. Малкин, А.А. Солодухин, Ю.Г. Ярошенко // Сталь. 2003. №9. С. 20-23.
2. Анализ механизма переувлажнения поверхности слоя при сушке окатышей на обжиговой конвейерной машине/ А.А. Авдеев, Б.А. Боковиков, В.М. Малкин, А.А. Солодухин, Ю.Г. Ярошенко // Сталь. 2005. №2. С. 28-30.
3. Способ сушки окатышей на конвейерных машинах / В.М. Абзалов, Г.Х. Бойко, Л.К. Кокорин [и др]. А.с. № 1587067 от 22.04.90.
4. Интенсификация процесса сушки окатышей на обжиговых конвейерных машинах / В.М. Абзалов, Б.И. Борисенко, В.Н. Неволин, А.А. Солодухин // Сталь. 2006. №6. С. 28-30.
5. Особенности слоевой сушки железорудных окатышей / В.И. Клейн, А.В. Кононыхин, В.Е. Мальцева, А.А. Солодухин // Сталь. 2002. №4. С. 13-16.
6. Характер разрушения железорудных окатышей в процессе интенсивной сушки / В.М. Абзалов, А.В. Кононыхин, Г.С. Лихачев, А.А. Солодухин // Сталь. 2003. №1. С. 20-22.
7. Боковиков Б.А., Брагин В.В., Евстюгин С.Н., Малкин В.М., Найдич М.И., Солодухин А.А. Теплофизические закономерности термообработки железорудных окатышей на конвейерной машине (математическое моделирование). – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – 200 с.
8. Майзель Г.М., Абзалов В.М., Евстюгин С.Н. [и др.]. Обжиговая машина с двухслойным загрузочным устройством. Патент Германии № 95P8518 ДЕ от 31.03.95. Патент Австралии № 692371 от 20.03.96. Патент ЮАР № 96/2582 от 10.03.96.
9. Абзалов В.М., Евстюгин С.Н., Клейн В.И. Тепловая работа обжиговых конвейерных машин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 247 с.